

Study on Slot-Coupled Circular Microstrip Antennas for Dual/Circular Polarization(偏波共用・円偏波用スロット結合円形マイクロストリップアンテナに関する研究)

著者	村上 康
号	2088
発行年	2003
URL	http://hdl.handle.net/10097/10895

氏 名	むらかみ やすし 村 上 康
授 与 学 位	博士 (工学)
学 位 授 与 年 月 日	平成15年12月10日
学 位 授 与 の 根 拠 法 規	学位規則第4条第2項
最 終 学 歴	平成元年3月 東北大学大学院工学研究科電気及び通信工学専攻 博士課程前期課程修了
学 位 論 文 題 目	Study on Slot-Coupled Circular Microstrip Antennas for Dual/Circular Polarization (偏波共用・円偏波用スロット結合円形マイクロストリップアンテナに関する研究)
論 文 審 査 委 員	主査 東北大学教授 澤谷邦男 東北大学教授 水野皓司 東北大学教授 杉浦 行

論 文 内 容 要 旨

近年、円偏波を用いた無線通信システムが増加している。

移動体衛星通信では、電離層を通過する電磁波はファラディ回転により偏波面が回転するため、円偏波を用いることにより、偏波損失をなくすることができる。

また、DSRC (Dedicated Short Range Communication : 狭域通信)、ミリ波超高速無線 LAN システム等では、円偏波を用いることにより、通信品質への影響が大きい1回反射波を抑圧し、高速データ通信やマルチメディア通信など高品質を確保している。

マイクロストリップアンテナは、低姿勢、コンフォーマルアレーアンテナへの対応、円偏波の容易な励振等有用な特徴を持つ。特にスロット結合型マイクロストリップアンテナは図1に示すように、放射器と給電用線路が接地導体上に形成されたスロットを介してのみ結合する構成であり、放射器と給電系を別々に最適化可能、給電系からの不要放射の抑圧、設計自由度の増加等の特徴を有する。

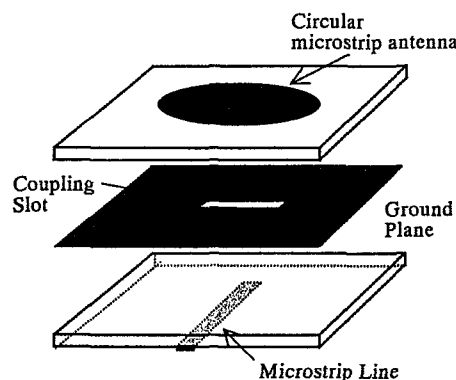


図1: スロット結合型マイクロストリップアンテナ

偏波共用アンテナ、直交2点給電円偏波アンテナ、self-diplexing アンテナでは2端子間のアイソレーションが重要である。この2端子間のアイソレーションは、偏波共用アンテナの偏波識別度、円偏波アンテナの軸比を決定付けるパラメータである。また二層構造の円偏波 self-diplexing アンテナでは、円偏波の軸比は送信端子と受信端子のアイソレーション特性を決定する最大の要因である。一般にスロット結合型マイクロストリップアンテナでは、他の給電方式に比較して2端子間のアイソレーションが悪いことが知られている。よって、スロット結合型マイクロストリップアンテナで2端子間のアイソレーションを向上させることは、偏波共用、円偏波励振及び self-diplexing アンテナへの応用の上重要である。

クロススロット結合型マイクロストリップアンテナは、1点給電円偏波励振時、円偏波の軸比

のよい周波数において給電線路とのインピーダンス整合がとれる。本アンテナについては、実験的検討が中心であり、理論的な検討はなされていない。

本論文では、偏波共用あるいは円偏波用のスロット結合型円形マイクロストリップアンテナに注目し、特に直交2点給電型の特性評価を行った。一方、クロススロット結合型円形マイクロストリップアンテナでは、等価回路の導出及び本アンテナの動作メカニズムを明らかにした。

また、本論文では、理論的検討で求められた結果を用い、直交2点給電を用いた偏波共用スロット結合型マイクロストリップアンテナ及び移動体衛星通信用セルフダイプレキシングアンテナの提案を行った。

第2章では、はじめに結合スロットのオフセットと円形マイクロストリップアンテナ上に励振されるモード電流、特に高次モードとの関係を理論的に明らかにした。解析方法には、スペクトル領域法(Spectral Domain Moment Method)を用いた。結合スロットのオフセット方向により、円形マイクロストリップアンテナ上に励振される偶数次高次モードが異なることを示した。

次に、直交2点給電を用いた偏波共用スロット結合型円形マイクロストリップアンテナの提案を行った(図2)。提案したアンテナでは、2つの結合スロットの位置及び方向の最適化により、円形

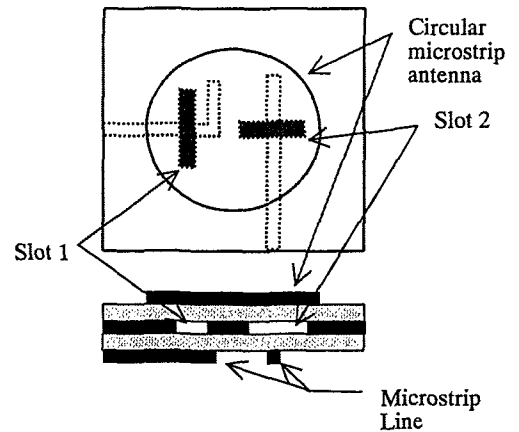


図2: 偏波共用スロット結合型マイクロストリップアンテナ

マイクロストリップアンテナ上のモードを全て直交させ、結合スロット間の結合をなくした。本アンテナの端子間のアイソレーション量として、実験的に 35 dB 以上を得た。本アンテナは移動体衛星通信用アンテナあるいは衛星通信用アンテナとしての応用が期待される。

さらに第2章では、円偏波用直交2点給電スロット結合型円形マイクロストリップアンテナの端子間相互結合特性について理論的に検討を行った。種々のアンテナパラメータの端子間相互結合量への影響を明らかにした。端子間の相互結合量はアンテナパラメータの変化により、共振周波数における相互結合量は変化するものの、円形マイクロストリップ共振器の TM_{110} モードの共振周波数で最小となることを示した。よって、端子間相互結合量を低くし、円偏波の軸比を改善するには、共振周波数（給電線路と整合のとれる周波数）を TM_{110} モードの共振周波数にできるだけ近づける必要がある。上記設計上の注意事項をもとにアンテナの設計を行い、共振周波数における端子間相互結合量を -35 dB 以下に抑えることができ、共振周波数における正面方向の軸比も 1 dB 以下を得た。よって、前述した設計上の注意事項の正当性を示した。

第3章では、クロススロット結合型マイクロストリップアンテナ(図3)の理論的解析を行った。解析方法には可逆定理に基づく方法(Reciprocity method of analysis)を用いた。本手法は給電用マイクロストリップ線路が無限に長く、且つマイクロストリップ線路を伝搬するモードは準 TEM モードのみという仮定のもと、給電マイクロストリップ線路上を伝搬する準 TEM モードとスロット上の磁流の結合を求める方法である。本解析方法を用いて得られたクロススロット結合型マイクロストリップアンテナの等価回路が、通常用いられる矩形の給電クロススロット結合型マイクロストリップアンテナの直列接続であることを示した(図4)。また、理論と実測の比較を行い、得られた等価回路の正当性を確認した。この等価回路は、既に報告されている実験的に得られた等価回路と一致するものである。

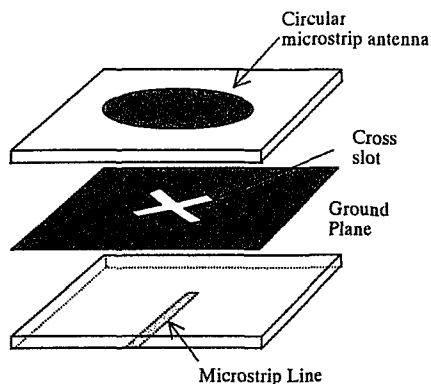


図3: クロススロット結合型マイクロストリップアンテナ

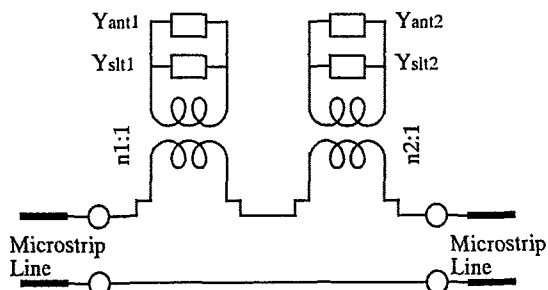


図4: クロススロット結合型マイクロストリップアンテナの等価回路

第4章では、スロット結合を用いた移動体衛星通信用 self-diplexing アンテナとして2種類のアンテナを提案した。一つはL帯移動体衛星通信端末用(図5)であり、他方はL/S帯移動体衛星通信用である。両アンテナとも二層構造を有している。共に送信用アンテナは円形のマイクロストリップアンテナであり、受信用アンテナの上に積層してある。円形マイクロストリップアンテナへの給電方法として、受信用アンテナの内部に設けられた開口を通して変形クロススロットによるスロット結合を用いた。受信用アンテナには、L帯用アンテナでは内側端部を接地導体に短絡した円環パッチアンテナ、L/S帯用アンテナでは内側端部を接地導体に短絡しないリングマイクロストリップアンテナを用いた。円偏波励振は、送信用円形マイクロストリップアンテナでは摂動分離素子装荷による1点給電、受信用円環パッチ及びリングマイクロストリップアンテナでは直交2点給電あるいは直交4点給電を用いた。この円偏波励振方法の採用により、送受端子間アイソレーションは送信用アンテナの軸比が良い送信帯域で改善される。

両アンテナとも送信帯域において送受端子間のアイソレーション量として実験的に30 dB以上を得た(図6)。L帯移動体衛星通信用 self-diplexing アンテナでは、16 (4×4) 素子アレーアンテナの特性評価を行い、ビームが正面方向に向けた場合のアイソレーション量として25 dB以上、ビーム走査角±60°の範囲内で20 dB以上を得た。これらの値はプローブ給電型の self-diplexing アンテナと同等の値である。

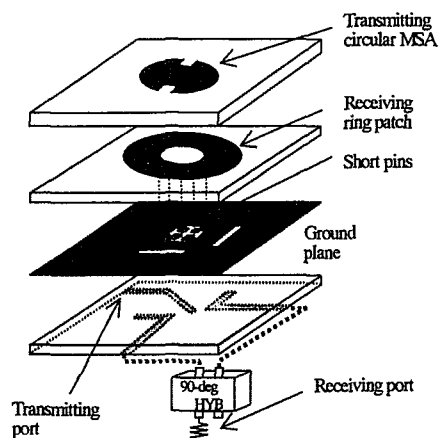


図5: スロット結合型 self-diplexing アンテナ

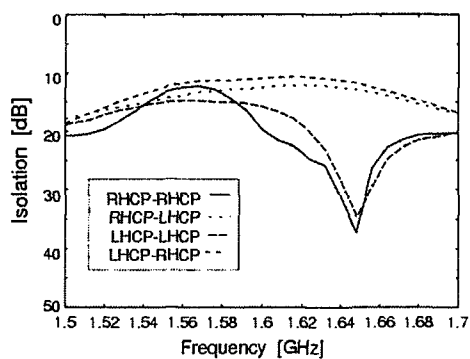


図6: L帯スロット結合型 self-diplexing アンテナのアイソレーション

論文審査結果の要旨及び学力確認結果の要旨

論文提出者氏名	村上 康
論文題目	Study on Slot-Coupled Circular Microstrip Antennas for Dual/Circular Polarization (偏波共用・円偏波用スロット結合円形マイクロストリップアンテナに関する研究)
論文審査及び 学力確認担当者	主査 教授 澤谷 邦男 教授 水野 皓司 教授 杉浦 行 助教授 陳 強
<p style="text-align: center;">論文審査結果の要旨</p> <p>衛星通信・放送や構内無線 LAN 等では円偏波が広く用いられており、一部の移動体衛星通信では直交する2つの直線偏波が共用されていることから、直線偏波共用あるいは円偏波で動作する高性能の低姿勢アンテナが望まれている。スロット結合円形マイクロストリップアンテナ(MSA)は、給電回路部とアンテナを独立に設計でき、スルーホールを必要としない低姿勢アンテナとして優れているが、構造パラメータが多いためにその設計は容易ではない。著者は、このアンテナの数値解析と実験を通じて偏波共用及び円偏波アンテナの設計に有用な多くの知見を得た。本論文はこれらの研究成果をまとめたもので、全編5章よりなる。</p> <p>第1章は序論である。</p> <p>第2章では、直交する2つの結合スロットにより給電する円形MSAについて述べている。偏波共用アンテナでは2つの偏波間のアイソレーションを向上させる観点から、また円偏波アンテナでは軸比特性を改善する立場から、それぞれ2つの給電点間の相互結合を低く抑える必要がある。そこで、まずモード理論及びスペクトル領域モーメント法を用いた数値計算を通じて、結合が小さい2種類の結合スロットの位置と寸法を明らかにしている。また、マイクロストリップ線路によりMSAに給電した実験により、給電点間結合が-35dB以下と極めて低いことを示し、これらのアンテナが偏波共用及び円偏波に適していることを明らかにしている。これらは直交スロット結合型MSAの設計に有用な成果である。</p> <p>第3章では、クロススロット結合円形MSAについて理論的に検討している。まず、相反理論に基づいた理論により、マイクロストリップ線路、クロススロット及びアンテナを等価回路で表現できることを示している。次にこの等価回路を用いて対称クロススロット結合直線偏波MSA及び非対称クロススロット結合円偏波MSAを設計・試作し、この理論がクロススロット結合円形MSAの設計に有効であることを示している。</p> <p>第4章では、L帯移動体衛星通信用の円偏波セルフダイプレクシングアンテナの開発について述べている。セルフダイプレクシング機能を持たせるために、1.64GHz帯送信用として1点給電クロススロット結合円形MSAを、また1.54GHz帯受信用として4点給電スロット結合円環パッチアンテナをそれぞれ採用し、これらを積層することにより、送信帯域で30dB以上のアイソレーションを実現できることを実験的に示している。また、このアンテナを素子とする4×4素子平面アレーアンテナでは±60°のビーム走査範囲で20dB以上のアイソレーションが得られ、軸比特性も良好であることを示しており、実用上重要な成果を得ている。</p> <p>第5章は結論である。</p> <p>以上要するに本論文は、スロット結合円形MSAについて数値解析と実験を行い、偏波共用及び円偏波アンテナの設計に有用な知見を与えると共に、その性能向上を達成したもので、無線通信工学の発展に寄与するところが少なくない。</p> <p>よって、本論文は博士(工学)の学位論文として合格と認める。</p>	
<p style="text-align: center;">学力確認結果の要旨</p> <p>平成15年10月22日、審査委員ならびに関係教官出席のもとに、学力確認のための試問を行った結果、本人は無線通信工学に関する十分な学力と研究指導能力を有することを確認した。</p> <p>なお、英学術論文に対する理解力から見て、外国語に対する学力も十分であることを認めた。</p>	

論文審査結果の要旨

衛星通信・放送や構内無線 LAN 等では円偏波が広く用いられており、一部の移動体衛星通信では直交する 2 つの直線偏波が共用されていることから、直線偏波共用あるいは円偏波で動作する高性能の低姿勢アンテナが望まれている。スロット結合円形マイクロストリップアンテナ (MSA) は、給電回路部とアンテナを独立に設計でき、スルーホールを必要としない低姿勢アンテナとして優れているが、構造パラメータが多いためにその設計は容易ではない。著者は、このアンテナの数値解析と実験を通じて偏波共用及び円偏波アンテナの設計に有用な多くの知見を得た。本論文はこれらの研究成果をまとめたもので、全編 5 章よりなる。

第 1 章は序論である。

第 2 章では、直交する 2 つの結合スロットにより給電する円形 MSA について述べている。偏波共用アンテナでは 2 つの偏波間のアイソレーションを向上させる観点から、また円偏波アンテナでは軸比特性を改善する立場から、それぞれ 2 つの給電点間の相互結合を低く抑える必要がある。そこで、まずモード理論及びスペクトル領域モーメント法を用いた数値計算を通じて、結合が小さい 2 種類の結合スロットの位置と寸法を明らかにしている。また、マイクロストリップ線路により MSA に給電した実験により、給電点間結合が -35 dB 以下と極めて低いことを示し、これらのアンテナが偏波共用及び円偏波に適していることを明らかにしている。これらは直交スロット結合型 MSA の設計に有用な成果である。

第 3 章では、クロススロット結合円形 MSA について理論的に検討している。まず、相反理論に基づいた理論により、マイクロストリップ線路、クロススロット及びアンテナを等価回路で表現できることを示している。次にこの等価回路を用いて対称クロススロット結合直線偏波 MSA 及び非対称クロススロット結合円偏波 MSA を設計・試作し、この理論がクロススロット結合円形 MSA の設計に有効であることを示している。

第 4 章では、L 帯移動体衛星通信用の円偏波セルフダイプレクシングアンテナの開発について述べている。セルフダイプレクシング機能を持たせるために、 1.64GHz 帯送信用として 1 点給電クロススロット結合円形 MSA を、また 1.54GHz 帯受信用として 4 点給電スロット結合円環パッチアンテナをそれぞれ採用し、これらを積層することにより、送信帯域で 30 dB 以上のアイソレーションを実現できることを実験的に示している。また、このアンテナを素子とする 4×4 素子平面アレーアンテナでは $\pm 60^\circ$ のビーム走査範囲で 20 dB 以上のアイソレーションが得られ、軸比特性も良好であることを示しており、実用上重要な成果を得ている。

第 5 章は結論である。

以上要するに本論文は、スロット結合円形 MSA について数値解析と実験を行い、偏波共用及び円偏波アンテナの設計に有用な知見を与えると共に、その性能向上を達成したもので、無線通信工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士 (工学) の学位論文として合格と認める。